



TUGAS AKHIR
TM 095502 (MN)

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA
TEMPERATUR 230°C DENGAN PROSES
QUENCH TEMPER TERHADAP KEKERASAN
DAN KEKUATAN IMPAK MATERIAL BAJA
PEGAS DAUN BEKAS SEBAGAI BAHAN PISAU**

AKHMAD FAISOL NUR
NRP. 2114 030 102

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



**FINAL PROJCT
TM 095502 (MN)**

**EFFECT OF TEMPERING TIME AT 230°C
TEMPERATURE WITH QUENCH TEMPER
PROCESS TO HARDNESS AND IMPACT
STRENGTH OF LEAF SPRING STEEL AS A
KNIFE MATERIAL**

**AKHMAD FAISOL NUR
NRP. 2114 030 102**

**Counselor Lecturer
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 19600623 198803 1 002**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Vocational
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA
TEMPERATUR 230°C DENGAN PROSES QUENCH
TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK MATERIAL BAJA PEGAS DAUN BEKAS
SEBAGAI BAHAN PISAU**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

AKHMAD FAISOL NUR
NRP. 2114 030 102

Disetujui oleh:
Pembimbing



**SURABAYA
JULI 2017**

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA
TEMPERATUR 230°C DENGAN PROSES QUENCH
TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK MATERIAL BAJA PEGAS DAUN BEKAS
SEBAGAI BAHAN PISAU**

Nama Mahasiswa : Akhmad Faisol Nur
NRP : 2114 030 102
Jurusan : Departemen Teknik Mesin
Industri Fakultas Vokasi-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstrak

Baja bekas seringkali digunakan untuk membuat berbagai macam produk. Kualitas dari suatu produk dengan bahan baja tergantung pada proses perlakuan panas yang dilakukan dengan tujuan merubah sifat mekanis dari baja tersebut, perlakuan panas ini dilakukan pada baja pegas daun bekas yang biasa digunakan sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur.

Penelitian ini diawali dengan pemanasan spesimen pada temperatur austenisasi 850°C dengan waktu penahanan 60 menit, kemudian dilakukan proses quenching dengan media pendingin oli. Setelah itu, dilanjutkan proses tempering pada temperatur 230°C dengan perbedaan waktu penahanan 50 menit, 70 menit dan 90 menit kemudian didinginkan dengan media udara. Setelah proses perlakuan panas selesai selanjutnya dilakukan proses pengujian, uji kekerasan dan uji impak.

Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan semakin lamanya waktu penahanan (holding time) proses tempering, maka kekerasan spesimen semakin turun, yaitu 46,3 HRC, 45,7 HRC, 45,2 HRC, sedangkan nilai kekuatan impak spesimen menjadi semakin meningkat, yaitu 0,00654 Kgm/mm², 0,00783 Kgm/mm², 0,0088 Kgm/mm².

Kata kunci : *Baja pegas daun, sifat mekanis, perlakuan panas.*

**EFFECT OF TEMPERING TIME AT 230°C
TEMPERATURE WITH QUENCH TEMPER PROCESS
TO HARDNESS AND IMPACT STRENGTH OF LEAF
SPRING STEEL AS A KNIFE MATERIAL**

Student Name : Akhmad Faisol Nur
NRP : 2114 030 102
Department : Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocational-ITS
Advisor : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstract

Steel is often used to make various products. The quality of a product with a steel material depends on the heat treatment process being carried out. The process of heat treatment is a heating process performed on the metal with the aim of changing the mechanical properties of the steel, the heat treatment applied on leaf springs steel used as a raw material for making kitchen knives.

This research was started by heating the specimen at 850°C austenisation temperature with holding time of 60 minutes, then quenching process with oil cooling medium. After that, the tempering process continued 230°C temperature. with 50 minutes, 70 minutes and 90 minutes holding time then cooled with air medium. After the heat treatment process is done further testing process, hardness test and impact test.

From this research, obtained the result that with the longer holding time of tempering process, the specimen hardness decreases, that is 46,3 HRC, 45,7 HRC, 45,2 HRC, while specimen impact strength value become increasing, that is 0,00654 Kgm / mm², 0,00783 Kgm / mm², 0.0088 Kgm / mm².

Keywords: leaf spring steel, mechanical properties, heat treatment.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir yang berjudul : **“PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA TEMPERATUR 230°C DENGAN PROSES QUENCH TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK MATERIAL BAJA PEGAS DAUN BEKAS SEBAGAI BAHAN PISAU”** dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk bisa dinyatakan lulus.

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapatkan selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS. Penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak akan berhasil apabila tanpa ada bimbingan, bantuan, dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan motivasi. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
2. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku dosen wali yang selalu sabar dalam memberikan pengarahan.

5. Tim dosen penuji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama duduk dibangku perkuliahan.
7. Kedua orang tua tercinta bapak Drs. Solichan dan ibu Nurul Aini yang senantiasa memberikan doa, restu, dan nasihat.
8. Teman-teman Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS angkatan 2014, terimakasih atas do'a dan dukungannya, semoga persahabatan dan kebersamaan kita tetap utuh selamanya.
9. Teman-teman laboratorium metalurgi atas kebersamaan dan selalu memberikan semangat, bantuan, motivasi dan dukungannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Shahin Shohibul Awliya' selaku partner satu bimbingan tugas akhir, yang selalu sabar dan memberikan banyak sekali bantuan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar penelitian ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Baja	5
2.1.1 Baja Karbon	5
2.1.2 Baja Paduan	7
2.2 Pegas Daun	7
2.3 Perlakuan Panas	9
2.3.1 Laku Panas Kondisi Setimbang	10
2.3.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang	11
2.4 Temperatur Austenitasi	12
2.5 Quenching	13
2.5.1 Pembentukan Martensit	15
2.6 Tempering	17
2.7 Waktu Tahan	21
2.8 Sifat yang Diperlukan Pada Bahan Pisau	22
2.9 Pengujian Kekerasan	23
2.9.1 Pengujian Kekerasan Rockwell	23
2.10 Pengujian Impak	25

2.10.1 Metode Charpy	27
2.11 Penelitian Sebelumnya.....	28
BAB III METODOLOGI.....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Persiapan Spesimen	33
3.3 Perlakuan Panas.....	33
3.4 Proses Pengerasan	34
3.4.1 Proses Pendinginan.....	35
3.5 Proses Tempering	35
3.6 Pengujian	36
3.6.1 Pengujian Kekerasan	37
3.6.2 Pengujian Impak	38
BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN.....	41
4.1 Material Awal Tanpa Laku Panas	41
4.1.1 Uji Kekerasan Material Awal.....	41
4.1.2 Uji Impak Material Awal	42
4.2 Laku Panas Pengerasan.....	43
4.2.1 Uji Kekerasan Pengerasan	43
4.2.2 Uji Impak Pengerasan.....	45
4.3 Laku Panas Tempering.....	47
4.3.1 Pengujian Kekerasan Tempering	48
4.3.1.1 Analisa Pengujian Kekerasan	49
4.3.2 Pengujian Impak Tempering	50
4.3.2.1 Analisa Pengujian Impak.....	52
4.4 Pembahasan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pegas daun	7
Gambar 2.2 Konstruksi pegas daun.....	8
Gambar 2.3 Daerah temperatur laku panas	11
Gambar 2.4 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56%-0,64%	14
Gambar 2.5 Pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan martensit.....	15
Gambar 2.6 Pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan temperatur Ms dan Mf	16
Gambar 2.7 Proses quenching dan tempering	19
Gambar 2.8 Skema struktur transformasi austenit dan transformasi martensit yang terjadi.....	20
Gambar 2.9 Prinsip kerja rockwell.....	24
Gambar 2.10 Pengujian kekerasan pada rockwell.....	24
Gambar 2.11 Pola patahan.....	26
Gambar 2.12 Pengujian dampak metode charpy.....	27
Gambar 2.13 Skema perhitungan energi dampak	28
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	32
Gambar 3.2 Baja pegas daun bekas.....	31
Gambar 3.3 Dapur pemanas/oven	33
Gambar 3.4 Skema proses perlakuan panas	34
Gambar 3.5 Pemasukan spesimen ke dalam oven.....	34
Gambar 3.6 Media pendingin.....	34
Gambar 3.7 Pemasukan spesimen dalam oven.....	36
Gambar 3.8 Pendinginan proses tempering.....	36
Gambar 3.9 Alat uji kekerasan	37
Gambar 3.10 Dimensi spesimen pengujian kekerasan	38
Gambar 3.11 Alat uji dampak	39
Gambar 3.12 Dimensi spesimen pengujian dampak	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja pegas daun	9
Tabel 2.2 Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas daun	13
Tabel 2.3 Penelitian sebelumnya	29
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja pegas daun SUP 9A.....	33
Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan tanpa laku panas	42
Tabel 4.2 Hasil uji impak tanpa laku panas.....	43
Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan laku panas pengerasan	44
Tabel 4.4 Hasil uji impak laku panas pengerasan	46
Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan proses tempering.....	48
Tabel 4.6 Hasil uji impak proses tempering.....	50
Tabel 4.7 Pola patahan hasil pengujian impak	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produk dengan menggunakan bahan logam dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan bahkan baja bekas sekalipun sering digunakan untuk membuat berbagai macam produk. Produk dengan bahan logam terkadang harus memerlukan nilai kekerasan, ketangguhan serta ketahanan aus yang tinggi. Kualitas dari suatu produk dengan bahan logam sangat tergantung pada proses pengerjaan dan pembuatannya, yaitu pada proses perlakuan panas yang dilakukan untuk merubah sifat mekanis untuk mendukung kualitas yang baik dari produk yang dihasilkan.

Baja bekas biasa dimanfaatkan sebagai material pembuatan suatu produk yang bernilai ekonomi. Salah satu contoh yaitu baja pegas daun bekas yang biasa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan produk pisau. Namun sebelum pembuatan produk dilakukan, pada material tersebut perlu adanya perlakuan panas pada baja pegas daun bekas tersebut untuk mengetahui sifat mekanik pada material yang akan diproses lebih lanjut.

Disamping pembuatan pisau secara modern melalui industri-industri besar, juga dilakukan pembuatan pisau secara tradisional melalui industri rumahan pande besi. Industri rumahan pande besi memproduksi pisau secara manual dengan peralatan yang sederhana dengan pengetahuan berdasarkan ilmu yang didapat secara turun-temurun. Dalam prosesnya, industri rumahan pande besi menggunakan proses pengerasan (*hardening*) dengan menggunakan oli bekas sebagai media pendinginnya.

Penelitian kali ini bertujuan untuk menganalisa sifat mekanis berupa kekerasan dan kekuatan impak pada baja pegas daun bekas sebagai bahan pisau yang dapat berpengaruh terhadap kualitas-kualitas produk yang dihasilkan. Proses pemanasan dilakukan proses *hardening* dengan media pendingin oli. Setelah proses pengerasan kemudian dilanjutkan dengan proses laku panas *tempering* dengan menggunakan udara sebagai media

pendinginnya. Proses tersebut dilakukan agar spesimen tidak hanya memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, tetapi juga memiliki kekuatan impak (ketangguhan) yang baik.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang dari penelitian yang dilakukan, maka penulis mendapat beberapa rumusan masalah yang muncul, diantara rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana pengaruh proses tempering dengan tiga waktu penahanan yang berbeda terhadap sifat kekerasan dan kekuatan impak baja pegas daun bekas.
2. Bagaimana hasil dari sifat mekanik kekerasan dan kekuatan impak yang dihasilkan dari proses quenching yang dilakukan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penelitian dari masalah yang diangkat dalam penelitian ini, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Laju pendinginan diasumsikan sama untuk tiap spesimen.
2. Perubahan temperatur yang terjadi selama waktu pemindahan spesimen dari dapur pemanas diabaikan.
3. Kondisi bahan diasumsikan homogen untuk setiap spesimen.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh perbedaan waktu tahan pada proses tempering yang dilakukan terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan waktu tahan pada proses tempering yang dilakukan terhadap kekuatan impak yang dihasilkan.

3. Mengetahui pengaruh proses quenching yang dilakukan terhadap kekerasan dan kekuatan impak pada material baja pegas daun bekas yang dihasilkan.

1.5 Manfaat

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis mengharapkan adanya manfaat terhadap dunia pembelajaran dan dunia nyata dari pengaplikasian teori perlakuan panas yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian penelitian, diantaranya:

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

BAB III Metodologi

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV Hasil dan Analisa

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian impak.

BAB V Penutup

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran penulis dalam penyusunan penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal penelitian terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan penelitian ini.

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja

Baja merupakan logam paduan dengan logam besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai gradenya. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon dalam baja adalah krom (Cr), mangan (Mn), silikon (Si). Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarikanya, namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Baja merupakan paduan yang sering digunakan karena jumlah bahan baku yang melimpah dan proses pengolahannya mudah.

Baja banyak digunakan dalam pembangunan konstruksi dan struktur suatu bangunan. Selain itu, baja biasa dijadikan sebagai bahan baku oleh industri otomotif, industri peralatan dan lain-lain. Dalam bidang pertanian, baja banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan peralatan pertanian misalnya sabit, cangkul dan sebagainya.

Baja secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan pada komposisi kimianya, yaitu baja dengan kandungan unsur karbon saja biasa disebut dengan baja karbon (*carbon steel*) dan baja dengan kandungan paduan lebih dari satu unsur disebut baja paduan (*alloy steel*).

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dengan unsur paduan utamanya berupa besi (Fe) dan unsur kedua berupa karbon (C). Sedangkan unsur yang lain hanya dengan prosentase yang sangat kecil, campuran karbon pada baja yang digunakan adalah sebanyak yang dibutuhkan. Unsur paduan lain yang terdapat pada baja karbon seperti silikon, mangan, sulfur dan fosfor. Penambahan unsur

karbon pada baja sangatlah berpengaruh pada tingkat kekerasan dan kekuatan baja yang akan semakin tinggi. Semakin tinggi paduan karbon dalam baja, titik didihnya lebih rendah pada peleburannya. Baja karbon banyak digunakan dalam berbagai bidang konstruksi tergantung jenis baja karbon yang digunakan.

Baja karbon dapat digolongkan menjadi tiga macam berdasarkan prosentase kadar karbon yang terkandung di dalam baja, yaitu :

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung kadar karbon dibawah 0,25%. Karena kadar karbon dari baja ini sangat rendah, maka baja jenis ini termasuk baja yang lunak dan memiliki keuletan serta ketangguhan yang tinggi akan tetapi baja jenis ini memiliki kekerasan, kekuatan dan ketahanan aus yang rendah. Baja karbon rendah pada umumnya digunakan untuk membuat bodi mobil, pipa gedung, rantai, sekrup, paku, baut, konstruksi jembatan dan sebagainya.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) bersifat lebih kuat dan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Baja ini memiliki prosentase kadar karbon diatas 0,25%-0,55%. Pada umumnya, baja jenis ini banyak digunakan sebagai bahan pembuatan roda gigi, poros engkol, as roda, pin engkol dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,55%-1,5%. Baja ini mempunyai tingkat kekerasan dan kekuatan paling tinggi yang banyak digunakan untuk material tool. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon ini banyak digunakan dalam alat-alat perkakas seperti gergaji, palu dan sebagainya.

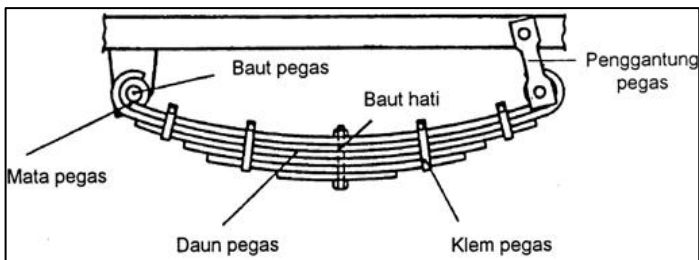
2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan merupakan baja dengan campuran satu atau lebih unsur kimia seperti mangan, kromium, molibdenum, vanadium, silikon, nikel dan wolfram untuk memperoleh sifat-sifat mekanis yang lebih baik. Tujuan dilakukannya penambahan unsur ialah untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keuletan dan sebagainya). Baja paduan mempunyai sifat mekanik yang lebih baik daripada baja karbon, karena terdapat unsur paduan selain karbon dalam jumlah tertentu.

Klasifikasi baja paduan berdasarkan persentase paduannya terdiri atas baja paduan rendah (*low alloy steel*) jika elemen paduannya $\leq 2,5\%$, baja paduan sedang (*medium alloy steel*) jika elemen paduannya 2,5% sampai 10%, baja paduan tinggi (*high alloy steel*) jika elemen paduannya lebih dari 10%. Persentase paduan unsur yang dicampur dalam baja untuk mendapatkan sifat baja yang lebih baik dibanding dengan baja karbon.

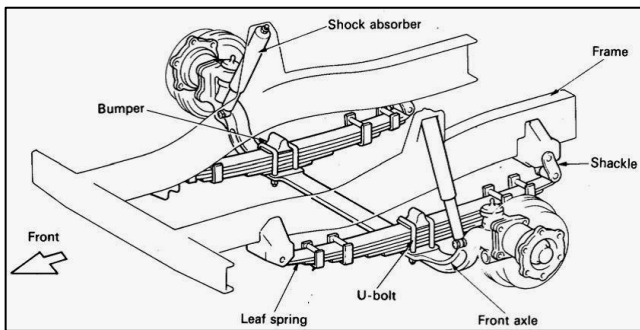
2.2 Pegas Daun

Pegas merupakan suatu alat peredam kejutan pada sebuah kendaraan yang biasanya terbuat dari baja. Pada kendaraan, pegas digunakan untuk mengurangi atau meredam guncangan dan getaran akibat dari permukaan jalan yang tidak rata agar tidak diteruskan ke bodi kendaraan secara langsung, sehingga dapat mengurangi penyebab ketidaknyamanan dalam berkendara.



Gambar 2.1 Pegas daun [6]

Pegas daun biasa disebut dengan *leaf spring* yang terbentuk dari beberapa lembar pegas (berbentuk pelat-pelat datar yang berbentuk seperti daun). Pelat-pelat tersebut disatukan dan diikat menjadi satu oleh sabuk seperti gelang yang melingkari pada posisi tengah atau dengan baut yang menembusnya ditengah. Konstruksi pegas daun memiliki jumlah tumpukan pegas yang dapat ditambah ataupun dikurangi. Daun-daun yang lebih panjang biasa dikenal sebagai daun utama (*main leaf*) dengan ujung dibentuk menyerupai mata dipasang dengan baut untuk mengikat pegas pada tumpuannya. Daun utama akan melawan beban-beban lentur vertikal dan juga beban-beban yang disebabkan bagian samping kendaraan dan torsi. Semakin banyak jumlah lembar spring, semakin kuat daya lenturnya. Ukuran tebal, lebar dan panjang spring yang digunakan disesuaikan dengan penggunaan pada kendaraan. Semakin besar kendaraan, maka ukuran lembar spring yang digunakan lebih besar pula.



Gambar 2.2 Konstruksi pegas daun [10]

Fungsi dari pegas daun ialah untuk menghubungkan frame axle dan juga sebagai bantalan/peredam kejutan yang berfungsi untuk menyerap guncangan untuk mengurangi efek yang ditimbulkan akibat permukaan jalan yang tidak rata. Fungsi dari suatu pegas sangatlah penting untuk memberikan kenyamanan saat berkendara. Pegas daun memiliki konstruksi yang sederhana yang dapat meredam getaran sendiri (gesekan antara daun pegas)

dan juga berfungsi sebagai lengan penyangga. Pegas daun banyak digunakan pada sistem suspensi belakang pada kendaraan.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja pegas daun [3]

Unit : %

Designation Of grade	C	Si	Mn	P ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Cr	Mo	V	B
SUP 6	0,56 to 0,64	1,50 to 1,80	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	-	-	-	-
SUP 7	0,56 to 0,64	1,80 to 2,20	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	-	-	-	-
SUP 9	0,52 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,65 to 0,95	-	-	-
SUP 9A	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 1,00	-	-	-
SUP 10	0,47 to 0,55	0,15 to 0,35	0,65 to 0,95	0,030 max.	0,030 max.	0,80 to 1,10	-	0,15 to 0,25	-
SUP 11A	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 1,00	-	-	0,0005 min.
SUP 12	0,51 to 0,59	1,20 to 1,60	0,60 to 0,90	0,030 max.	0,030 max.	0,60 to 0,90	-	-	-
SUP 13	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 0,90	0,25 to 0,35	-	-

2.3 Perlakuan Panas

Proses laku panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan yang dilakukan dengan kecepatan tertentu terhadap logam dalam keadaan padat sebagai upaya untuk memperoleh suatu sifat-sifat tertentu yang dapat merubah sifat baja dari yang lunak menjadi sangat keras atau juga dapat membentuk sifat baja dari yang mudah patah menjadi lebih ulet dan lebih tangguh. Pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung pada kandungan karbon, temperatur pemanasan, sistem pendinginan serta bentuk dan ketebalan bahan.

Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk mempersiapkan material pada pengolahan berikutnya, mempermudah proses machining, menghilangkan tegangan dalam, menghomogenkan ukuran butiran, memperbaiki keuletan dan kekuatan material, mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat. Perlakuan panas hampir dilakukan pada material yang akan dilakukan untuk pengerjaan lebih lanjut, dengan kata lain perlakuan panas menyiapkan material setengah jadi untuk dilakukan pengerjaan selanjutnya. Dari sini tampak bahwa proses laku panas dapat digunakan untuk melakukan manipulasi sifat mekanik sesuai dengan kebutuhan dan keperluan.

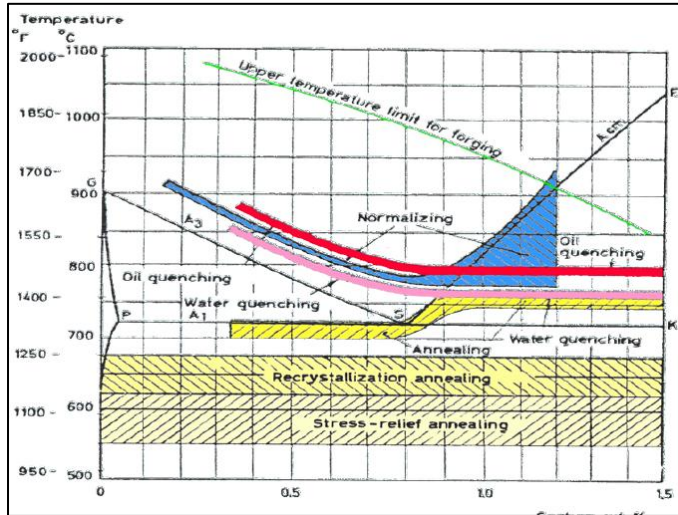
Proses laku panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan dimulai dengan pemanasan sampai temperatur tertentu. Yang membedakan proses laku panas dengan proses laku panas yang lain adalah tingginya temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, dan laju pendinginan.

Selama pemanasan, yang biasa dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, akan terbentuk austenite. Dengan memberikan waktu penahanan yang cukup akan memberikan kesempatan kepada atom-atom untuk berdiffusi menghomogenkan austenit yang baru terbentuk itu. Pada pendinginan kembali, austenit akan bertransformasi lagi dan struktur mikro yang terbentuk tergantung pada laju pendinginan. Dengan laju pendinginan yang berbeda akan terbentuk struktur mikro yang berbeda, tentunya sifat mekaniknya pun akan berbeda. Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, yaitu laku panas kondisi setimbang dan laku panas kondisi tidak setimbang. Laku panas kondisi setimbang untuk menaikkan sifat keuletan/ketangguhan, sedangkan laku panas kondisi tidak setimbang untuk menaikkan kekuatan/kekerasan.

2.3.1 Laku Panas Kondisi Setimbang

Tujuan dari perlakuan panas kondisi setimbang adalah untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam, dan memperbaiki

machineability. Ada beberapa jenis dari perlakuan panas *near equilibrium*, misalnya Full annealing (annealing), *Stress relief annealing*, *Process annealing*, *Spherodizing*, *Normalizing*, *Homogenizing*.



Gambar 2.3 Daerah temperatur laku panas [5]

Secara umum, laku panas Near Equilibrium biasa disebut dengan annealing. Annealing ialah suatu proses laku panas yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses annealing ini dimulai dengan memanaskan logam atau paduan sampai temperatur tertentu, kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama beberapa waktu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam tersebut dengan laju pendinginan lambat.

2.3.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang

Proses laku panas kondisi tidak setimbang dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekutan

yang lebih tinggi. Ada beberapa jenis dari perlakuan panas *non equilibrium*, misalnya *Hardening*, *Martempering*, *Austempering*, *Surface hardening* (*Carburizing*, *Sianiding*, *Flame hardening*, *Induction hardening*, *Nitriding*).

Proses laku panas pada keadaan tidak setimbang ini dilakukan dengan cara memberikan pendinginan cepat pada logam yang sudah dipanaskan sehingga tidak ada kesempatan bagi material yang sudah dipanaskan untuk mencapai kondisi yang setimbang karena waktu dibutuhkan untuk transformasi/dekomposisi tidak cukup.

2.4 Temperatur Austenisasi

Austenisasi merupakan proses pemanasan baja hingga temperatur austenit untuk membentuk struktur martensit. Temperatur austenisasi yang dianjurkan untuk melakukan proses pengerasan (*hardening*) adalah 25-50°C diatas temperatur kritis A_3 untuk baja hypoeutectoid dan pada baja hypereutectoid adalah 25-50 diatas temperatur kritis A_1 . Temperatur pemanasan yang dilakukan dibawah temperatur eutectoid tidak akan menghasilkan kenaikan kekerasan yang berarti, karena pada pemanasan tersebut tidak mencapai temperatur austenisasi sehingga pada saat pendinginan tidak akan diperoleh martensit.

Kekerasan yang optimal dapat tercapai dengan pemanasan seperti yang dianjurkan diatas, karena yang dapat bertransformasi menjadi martensit hanya austenit. Bila pemanasan diteruskan ke temperatur yang lebih tinggi lagi, maka akan diperoleh austenit dengan butiran yang terlalu kasar, sehingga bila didinginkan kembali akan ada kemungkinan terjadi struktur yang terlalu getas dan juga tegangan yang terlalu besar yang dapat menyebabkan terjadinya distorsi bahkan dapat terjadi retak. Berdasarkan standar, temperatur austenisasi dari baja pegas baja pegas daun dapat dilihat pada tabel 2.1.

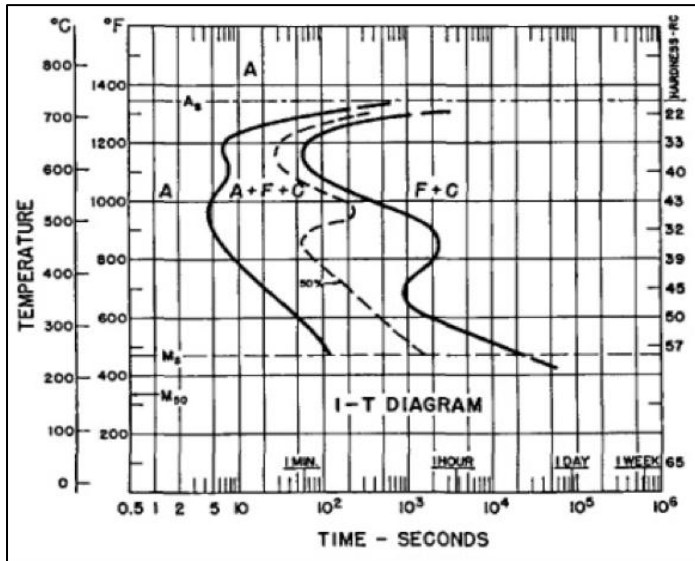
Tabel 2.1 Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas daun [4]

Steel grade	Heat treatment		Mechanical properties				
	Quench (C°)	Temper (C°)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	El. %	RA. %	Hardness HB
					JIS No. 4 or No. 7	JIS No. 4	
SUP3	830–860	450–500	≥ 834	≥ 1079	≥ 8	–	341–401
SUP6	830–860	480–540	≥ 1070	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP7	830–860	480–540	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP9	830–860	460–510	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP9A	830–860	460–520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP10	840–870	470–640	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363–429
SUP11A	830–860	460–520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP12	830–860	510–570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363–429
SUP13	830–860	510–570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363–429

Untuk membuat austenit menjadi lebih homogen, maka perlu diberi kesempatan pada atom-atom agar berdiffusi secara sempurna, yaitu pada saat pemanasan perlu diberi holding time yang cukup untuk dapat mencapai austenit yang homogen.

2.5 Quenching

Proses quenching merupakan proses pendinginan cepat yang bertujuan untuk mengeraskan suatu material dengan melakukan pemanasan logam hingga mencapai temperatur austenit kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama beberapa waktu dengan tujuan untuk menghomogenkan austenit tersebut, dari proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat (quenching) yang dilakukan pada logam dengan mencelupkan baja ke dalam media pendingin sehingga sifat kekerasan baja dapat tercapai. Pada perlakuan *quenching* ini terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi martensite untuk menghasilkan kekerasan yang tinggi. Pada gambar 2.4 menunjukkan IT diagram baja pegas daun.

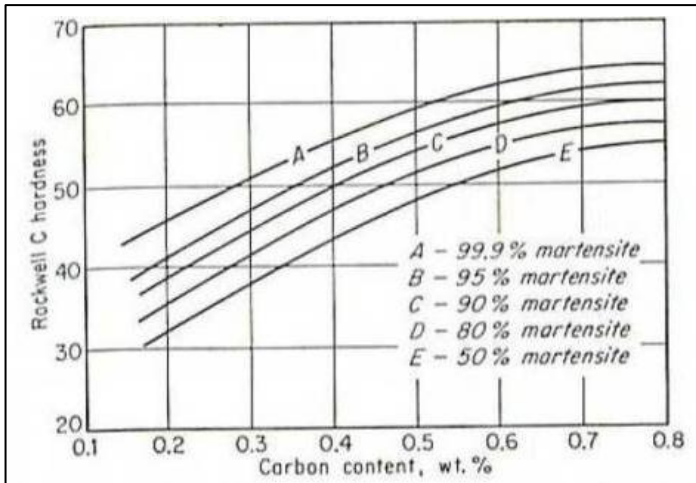


Gambar 2.4 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56%-0,64% [8]

Struktur martensit dapat diperoleh jika laju pendinginan dapat mencapai *critical cooling rate* (CCR). Diagram transformasi isothermal pada gambar diatas menunjukkan dimulainya transformasi austenit sampai menjadi martensit.

Bila laju pendinginan yang terjadi pada benda kerja lebih lambat dari laju pendinginan kritis (laju pendinginan kritis tidak tercapai) maka jumlah martensit yang terbentuk akan berkurang. Dengan banyaknya martensit yang terbentuk maka akan berpengaruh terhadap nilai kekerasan suatu material.

Martensit merupakan struktur metastabil yang terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Pemanasan harus dilakukan secara bertahap (*preheating*) dan perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (*holding time*) kemudian didinginkan dengan cepat.



Gambar 2.5 Pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan martensit [2]

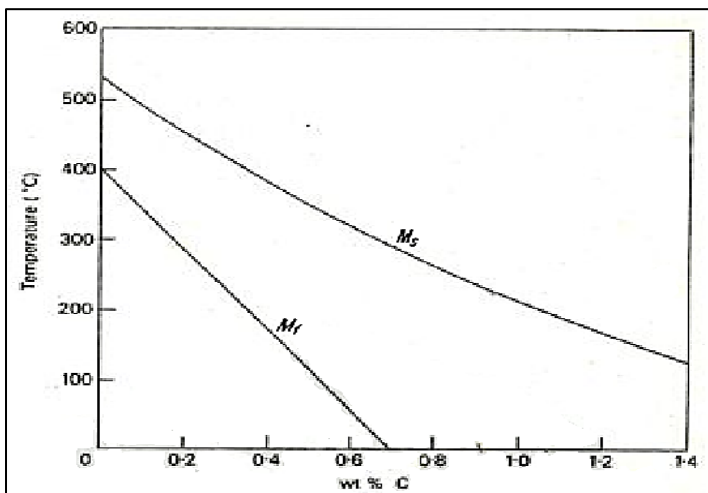
Pada gambar 2.5 memperlihatkan kekerasan yang akan dicapai bila diperoleh jumlah martensit dengan kadar karbon tertentu. Suatu baja pada dasarnya memiliki kekerasan maksimum yang tergantung pada komposisi kimia (kadar karbon dan unsur paduannya) dan martensit yang terbentuk pada saat pendinginan dilakukan. Semakin tinggi kadar karbonnya, makin berpengaruh terhadap banyaknya martensit yang terbentuk.

2.5.1 Pembentukan Martensit

Martensit akan terbentuk saat logam melalui proses perlakuan panas hingga temperatur austenisasi dengan laju pendinginan yang cepat ke temperatur kamar. Pada perlakuan quenching terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi martensite. Pada temperatur martensit start (M_s) pendinginan cepat menyebabkan karbon didalam austenit tidak dapat berdifusi. Struktur martensit merupakan struktur yang memiliki sifat yang keras dan getas.

Untuk mendapatkan nilai kekerasan baja yang optimal perlu diperhatikan temperatur dan waktu tahan proses austenisasi. Apabila temperatur dan waktu tahan austenisasi terlalu kecil tidak akan diperoleh pengerasan pada logam. Sedangkan jika temperatur dan waktu tahan terlalu lama, akan terjadi pertumbuhan butir sehingga baja menjadi rapuh. Pada diagram transformasi isothermal dapat dilihat temperatur awal martensit dan temperatur akhir martensit.

Dengan waktu pendinginan yang cepat, maka tidak ada waktu yang cukup bagi fasa austenit untuk berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom untuk melakukan pergerakan difusi dan bentuk sementit. Oleh karena itu, austenit dapat berubah menjadi martensite yang bersifat sangat keras, kekerasan yang dihasilkan baja tergantung pada presentase kadar karbon. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kekerasan martensit akan semakin tinggi, sehingga akan berpengaruh terhadap kekerasan suatu bahan.



Gambar 2.6 Pengaruh karbon terhadap pembentukan temperatur M_s dan M_f [2]

Garis martensit start (M_s) merupakan temperatur awal mula terbentuknya struktur martensit dan martensit finish (M_f) merupakan garis temperatur dimana transformasi berakhir. Kadar karbon pada suatu material sangat berpengaruh terhadap transformasi martensit serta terhadap temperatur dari martensit start (M_s) dan martensit finish (M_f). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7, semakin tinggi kadar karbon, maka garis martensit awal dan martensit akhir akan bergeser semakin kebawah yang berarti temperaturnya semakin rendah. Begitu pula dengan kekerasan martensit yang akan semakin tinggi.

Transformasi austenit menjadi martensit tidak seluruhnya dapat membentuk martensit, masih terdapat austenit sisa yang jumlahnya tergantung pada kadar karbon. Adanya austenit sisa ini dapat mengurangi kekerasan martensit. Austenit sisa terbentuk karena pada saat pendinginan selesai pada temperatur kamar, ada austenit yang belum selesai bertransformasi menjadi martensit. Prosentase austenit sisa yang terbentuk juga dipengaruhi oleh kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon, austenit sisa yang dihasilkan semakin tinggi.

2.6 Tempering

Baja yang telah dilaku panas pengerasan akan menghasilkan struktur martensit setelah didinginkan secara cepat (quenching). Pada kondisi ini biasanya material menjadi sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* kemudian segera diikuti dengan proses pemanasan kembali atau proses tempering. Proses tempering ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Dengan kembalinya sebagian keuletan/ketangguhan ini maka sebagian

kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan akan berkurang.

Suhu pemanasan proses tempering dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Tempering suhu rendah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 150°C - 300°C . Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. Tempering pada suhu rendah ini untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

2. Tempering suhu menengah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 300°C - 550°C . Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya pegas palu, dan pahat.

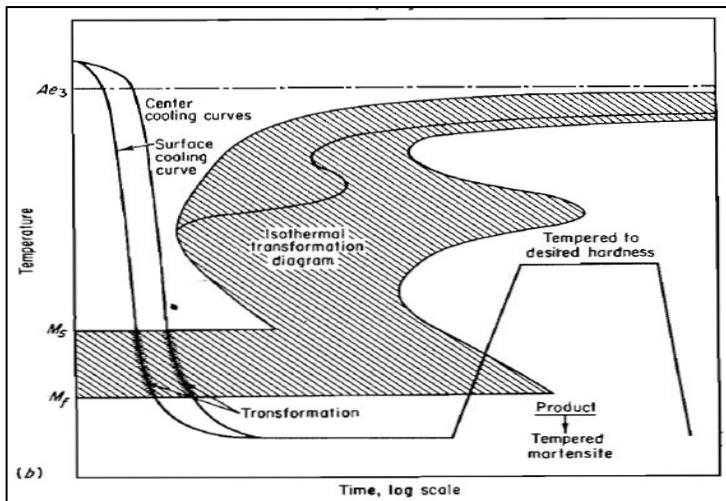
3. Tempering suhu tinggi

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 550°C - 650°C . Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Pada saat proses tempering, proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti kelutan dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun.

Pada proses tempering adalah proses pemberian energi panas kepada martensit, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga tergantung

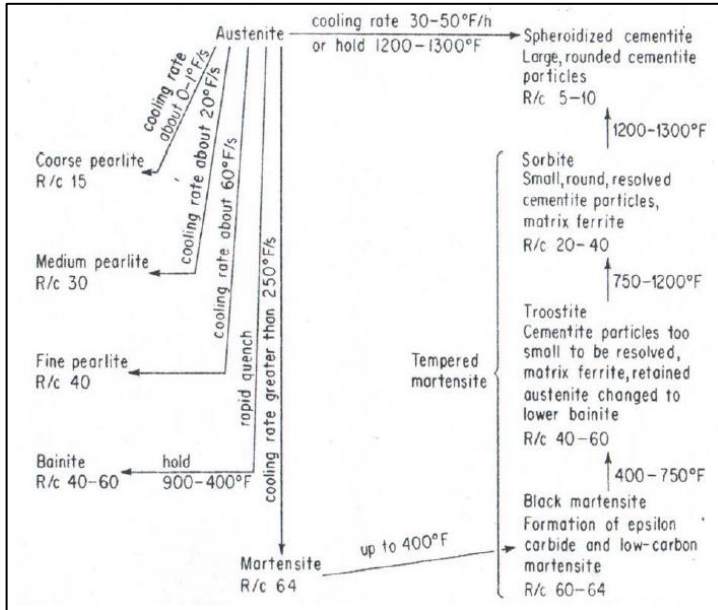
pada waktu penahanan. Pada suhu rendah, laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Pada temperatur temper yang lebih tinggi, difusi berlangsung lebih cepat dan atom besi dapat membentuk sementit. Kekerasannya menjadi lebih rendah dengan demikian maka logam menjadi lebih ulet dan tangguh.



Gambar 2.7 Proses quenching dan tempering [1]

Proses tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah (A_1), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dengan pemanasan kembali, martensit yang merupakan struktur metastabil yang berupa larutan padat supersaturated dimana karbon yang terperangkap dalam struktur body centered tetragonal (BCT) akan mulai mengeluarkan karbon yang berpresipitasi sebagai karbida besi. Dengan keluarnya karbon, maka tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang. Turunnya kekerasan ini akan

semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi dan juga apabila waktu tahan pada saat pemanasan semakin lama. Jika kekerasan turun kekuatan tarikpun akan turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.



Gambar 2.8 Skema struktur transformasi austenit dan transformasi martensit yang terjadi [1]

Perubahan temperatur tempering akan merubah struktur yang dihasilkan dan sulit dilihat perbedaannya, oleh karena itu semua produk tempering pada temperatur berapapun disebut tempered martensit yang artinya fasa martensit yang telah mengalami proses temper.

Ketika baja karbon dilakukan tempering hingga mencapai temperatur 200°C, maka akan diperoleh struktur yang bila dietsa akan berwarna gelap, yang dinamakan *black martensit*, dalam hal ini martensit mulai berkurang struktur tetragonalnya dan mulai

terbentuk presipitat karbida besi (*epsilon carbida*) yang sangat halus. Baja masih memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi, ketangguhan dan keuletan yang rendah dan sebagian tegangan sisa sudah mulai hilang.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 200°C sampai 400°C, menyebabkan *epsilon carbide* menjadi sementite (Fe_3C), *low-carbon martensite* menjadi ferrite BCC dan austenit sisa menjadi bainite bawah. Sementit yang terjadi masih sangat halus dan struktur yang bila dietsa tampak berwarna gelap dan dikenal dengan nama *troostite*. Kekerasan dan kekuatan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan sedikit naik.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 400°C sampai 650°C, menyebabkan partikel sementit tumbuh besar dan ferrit mulai tampak jelas, struktur tampak lebih terang dikenal dengan nama *sorbite*. Sedangkan keuletan sudah lebih dan ketangguhan sudah cukup tinggi.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 650°C sampai 705°C, menghasilkan partikel *cementite* yang kasar, terbentuk bola dan strukturnya sama seperti struktur yang diperoleh dengan *spherodizing*. Baja menjadi sangat lunak, ulet dan memiliki ketangguhan yang tinggi.

2.7 Waktu Tahan

Waktu tahan (*holding time*) adalah proses penahanan yang dilakukan pada temperatur tertentu, dengan adanya waktu penahanan yang diberikan diharapkan pemanasan menjadi lebih homogen. Untuk memperoleh pemanasan yang homogen, maka perlu diberi waktu atau kesempatan pada laju difusi secara keseluruhan.

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang merata sehingga struktur austenitnya *homogen* atau terjadi kelarutan karbida ke dalam *austenit* dan difusi karbon dan unsur paduannya.

Proses tempering merupakan proses pemanasan ulang pada martensit. Semakin tinggi temperatur pemanasan dan semakin lama waktu penahanan pada saat pemanasan akan menyebabkan kekerasan semakin turun. Nilai kekerasan yang sama dapat diperoleh menggunakan temperatur yang lebih rendah dengan waktu yang lebih panjang atau temperatur yang lebih tinggi dengan waktu yang lebih pendek.

2.8 Sifat yang Diperlukan Pada Bahan Pisau

Ada beberapa sifat yang harus dimiliki oleh pisau berbahan baja, antara lain adalah kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus, tahan korosi. Meskipun pada kenyataannya tidak akan didapatkan semua sifat tersebut sama-sama baik dalam produk pisau yang dihasilkan.

1. Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan bahan terhadap deformasi ketika dikenai beban, tahan terhadap penggoresan. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus. Kekerasan pisau berkisar antara 55 HRC-61 HRC dengan kekerasan yang ideal berkisar antara 55 HRC-57 HRC.

2. Tahan Aus

Tahan aus adalah kemampuan menahan abrasi akibat dari kontak langsung dengan benda lain. Secara umum, jumlah, jenis dan distribusi karbida dalam baja adalah yang menentukan ketahanan aus.

3. Tahan Korosi

Tahan korosi adalah kemampuan untuk tahan terhadap lingkungan sekitar, air asin dan bahan yang bersifat asam.

4. Ketangguhan

Ketangguhan adalah kemampuan atau ketahanan untuk mengambil dampak tanpa terjadi kerusakan, seperti retak, patah dll. Ketangguhan jelas penting dalam pekerjaan memotong.

2.9 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material yang merupakan ketahanan suatu material terhadap penggoresan, ketahanan terhadap abrasi dan mampu menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan, yaitu kadar karbon, unsur paduan, perlakuan panas dan bentuk serta dimensi butir. Kekerasan mempunyai korelasi dengan kekuatan karena kekerasan material berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*).

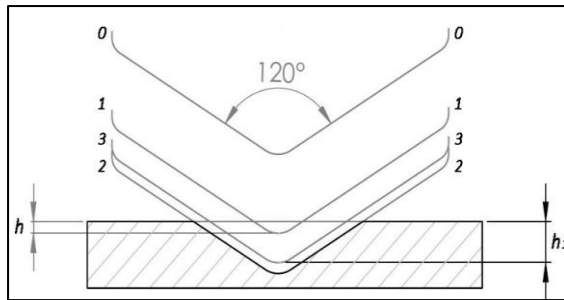
Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang umum digunakan untuk mengetahui ketahanan dari logam yaitu metode Rockwell, Vickers, Brinell. Prinsip pengukurannya adalah dengan memberi gaya tekan melalui sebuah identor pada permukaan bahan atau logam. Biasanya identor atau alat tekan yang digunakan pada uji kekerasan adalah berbentuk bola, piramida, kerucut intan. Pengujian kekerasan suatu material logam bertujuan untuk mengetahui angka kekerasan dari logam tersebut. Nilai kekerasannya dihitung dari jejak indentasinya dengan menggunakan formula tertentu sesuai metode ujinya.

2.9.1 Pengujian Kekerasan Rockwell

Pada pengujian cara Rockwell, pengukuran langsung dilakukan oleh mesin, dan mesin langsung menunjukkan angka kekerasan dari bahan yang diuji, cara ini lebih cepat dan akurat. Angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat dari pembebanan statis. Pada pengujian metode Rockwell dapat digunakan dua bentuk identor, yaitu identor berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dan identor berbentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Pengujian metode ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat.

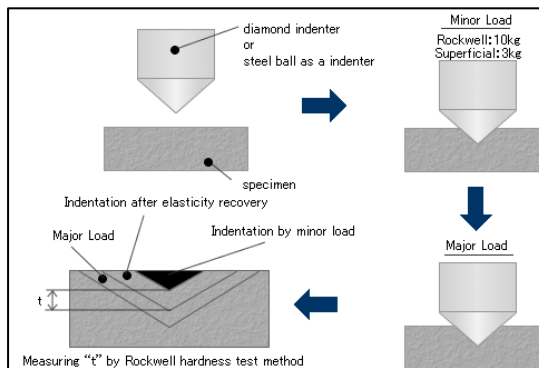
Pada pengujian metode Rockwell, mula-mula permukaan logam yang diuji ditekan oleh identor dengan

gaya tekan 10 kg beban awal (minor load) sehingga ujung idendor menembus permukaan sedalam h (kedalaman identasi), jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam. Setelah itu penekanan diteruskan dengan pemberian beban utama (mayor load), kemudian beban utama dilepas, hanya tinggal beban awal. Hasil pengukuran dapat langsung dilihat dengan menggunakan dial indikator.



Gambar 2.9 Prinsip kerja rockwell [10]

Dimana (0-0) adalah posisi sebelum identasi, (1-1) hasil identasi pembebanan minor, (2-2) hasil identasi saat pembebanan mayor dan (3-3) hasil identasi setelah pembebanan mayor dilepas.



Gambar 2.10 Pengujian kekerasan pada rockwell

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala yaitu merah digunakan untuk skala rockwell B dan hitam digunakan untuk skala Rockwell C.

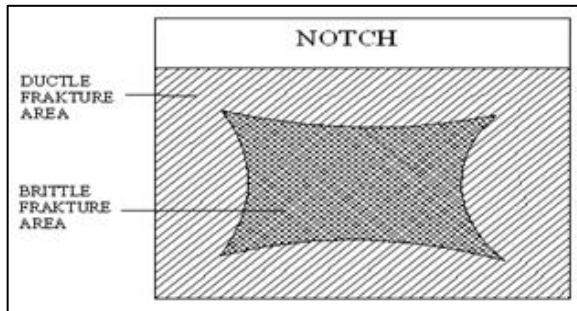
2.10 Pengujian Impak

Uji impak merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan dan ketahanan suatu spesimen bila diberikan beban secara tiba-tiba melalui tumbukan. Ketangguhan adalah kemampuan suatu material atau bahan untuk menyerap sejumlah energi sebelum terjadinya patahan. Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Dasar pengujiannya yaitu penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu untuk menumbuk benda uji sehingga benda mengalami deformasi.

Takik atau *notch* memegang peranan yang penting terhadap kekuatan Impak suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impak yang jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya perbedaan bentuk takikan pada benda kerja bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, kesalahan selama proses pengerjaan atau cacat seperti korosi lokal yang bersifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*). Adanya pusat pusat tegangan ini dapat menyebabkan Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah yield strength.

Selain mengukur kekuatan impak, pengujian impak juga digunakan untuk mempelajari pola perpatahan yang dihasilkan, apakah batang uji mengalami pola patahan getas (*brittle fracture*) atau spesimen mengalami pola patahan ulet (*ductile fracture*) atau kombinasi antara keduanya. Untuk mempelajari hal ini, dilakukan pengamatan secara visual pada permukaan patahan spesimen uji. Patahan getas tampak berkilat dan berbutir sedang patahan ulet tampak lebih suram dan berserabut.

Fracture atau kepatahan pada suatu material dapat digolongkan sebagai *brittle* (getas) atau *ductile* (ulet). Suatu material mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedangkan apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan.



Gambar 2.11 Pola patahan [3]

1. Patah ulet (*Ductile Fracture*)

Patah ulet adalah patahan yang disertai perubahan bentuk plastis. Patahan ini memiliki permukaan patahan yang tidak merata dan berserat dengan pertumbuhan retak yang berjalan lambat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi.

2. Patah getas (*Brittle Fracture*)

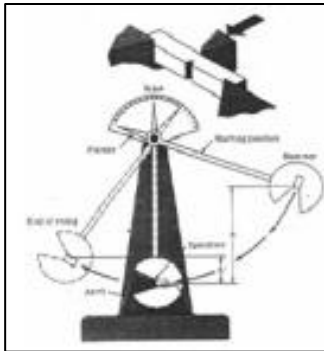
Patah getas terjadi apabila material logam pada saat patah tidak mengalami perubahan plastis atau pengecilan penampang. Permukaan patahan umumnya datar dan tegak lurus terhadap permukaan material. Patahan getas ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah.

Dalam uji impak terdapat dua macam metode pengujian, yakni metode charpy dan izod, perbedaan mendasar dari metode

ini adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan charpy lebih akurat karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu diserap material seutuhnya. Metode pengujian impak yang umum digunakan adalah metode Charpy.

2.10.1 Metode Charpy

Metode ini merupakan pengujian tumbukan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan horizontal/mendatar, dan arah pemukulan oleh pendulum berlawanan dengan arah takikan.



Gambar 2.12 Pengujian impak metode charpy [7]

Kekuatan impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. Prinsip pengujian impak ini adalah dengan menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh benda kerja pada saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu. Energi yang dipakai untuk mematahkan benda kerja dapat dihitung :

$$\text{Energi awal } (E_0) = W \cdot h = W l [1 - \cos \alpha] \quad \dots\dots 1$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W \cdot h_1 = W l [1 - \cos \beta] \quad \dots\dots 2$$

Energi untuk mematahkan test piece adalah

$$(E) = W (h - h_1) = W l (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (kgm)} \quad \dots\dots 3$$

Dimana:

W = berat dari pendulum (kg)

h = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

h₁ = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

α = Sudut awal (°)

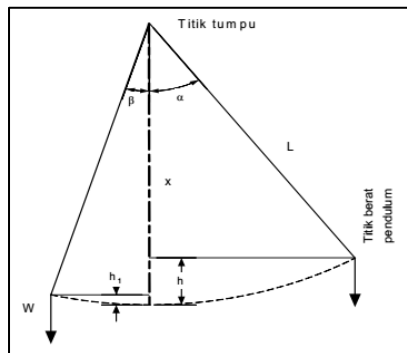
β = Sudut akhir (°)

l = jarak antara titik berat rat dari pendulum kesumbu putar

A = luas penampang pada bagian yang tertakik (mm²)

Dan akhirnya kekuatan impact dari logam dapat dihitung dengan rumus:

$$IS = \frac{WL (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \text{ (Kgm/mm}^2\text{)}$$



Gambar 2.13 Skema perhitungan energi impact

2.11 Penelitian Sebelumnya

Beberapa uraian singkat dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Penelitian sebelumnya

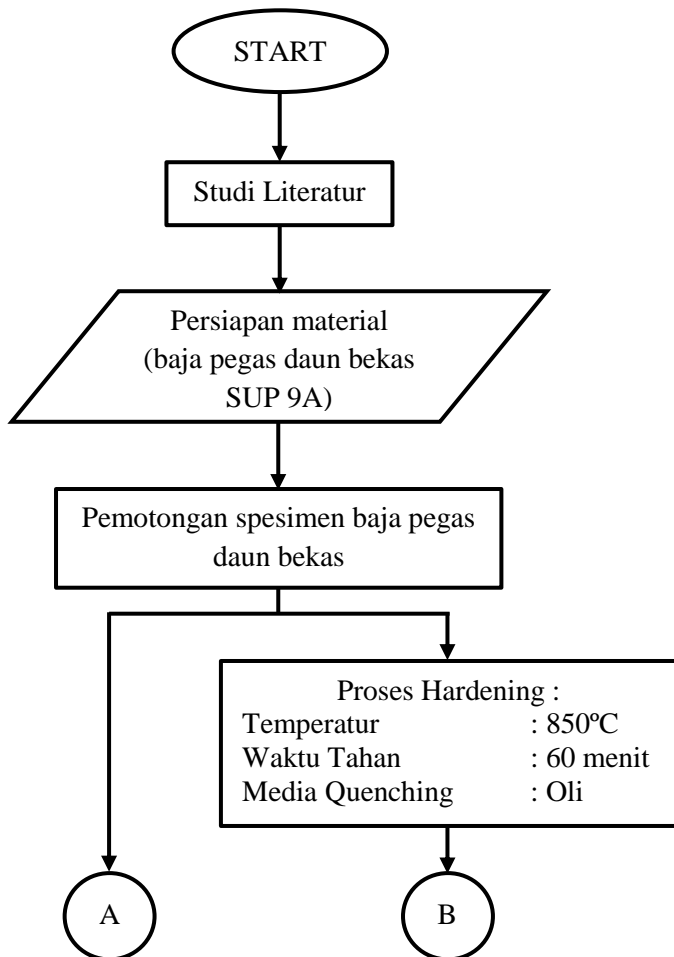
	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III
Pengarang	Ridha Wildania	Indra Setiawan dan Muhammad Sakti Nur	Egie Ardiyono
Tahun	2017	-	2016
Judul	Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Pisau Dapur Berbahan Baja Bekas Pegas Daun	Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 pada Pegas Daun Dengan Proses Laku Panas	Pengaruh Perbedaan Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Material Baja Leaf Spring
Tujuan	Mengetahui pengaruh variasi waktu tempering terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro dari pisau dapur	Mengetahui variasi temperatur sebelum dan sesudah proses perlakuan panas terhadap nilai kekerasan dan metalografi	Mengetahui pengaruh tiga variasi temperatur terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pegas daun truk Canter, mobil Panther dan bus Hino AK

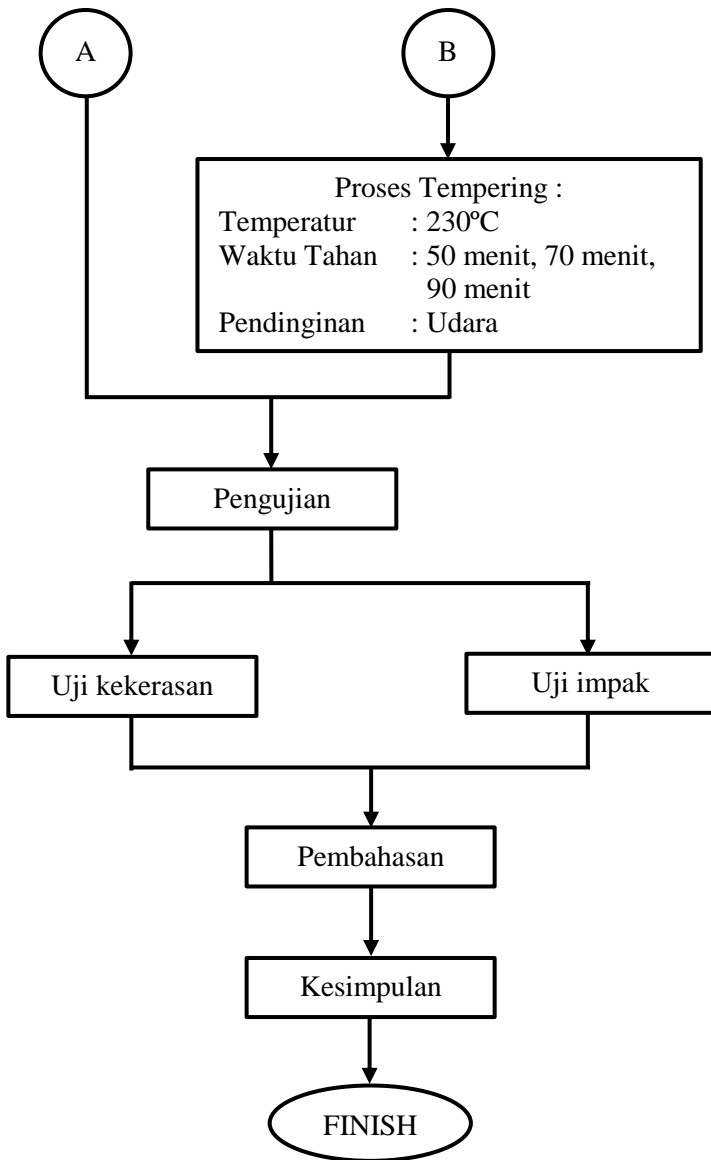
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam pengerjaan tugas akhir ini sesuai dengan diagram alir dibawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Persiapan Spesimen

Dalam penelitian ini, material yang digunakan dalam pengujian adalah baja bekas pegas daun yang pernah digunakan sebelumnya (bekas) dengan panjang 1000mm, lebar 70mm dan tebal 12mm. Baja pegas daun ini biasanya digunakan pada sistem suspensi belakang kendaraan. Material baja dipotong hingga mendapat ukuran spesimen yang telah ditentukan.

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja pegas daun SUP 9A [3]

Designation Of grade	C	Si	Mn	P ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Cr	Mo	V	B
SUP 9A	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 1,00	-	-	-



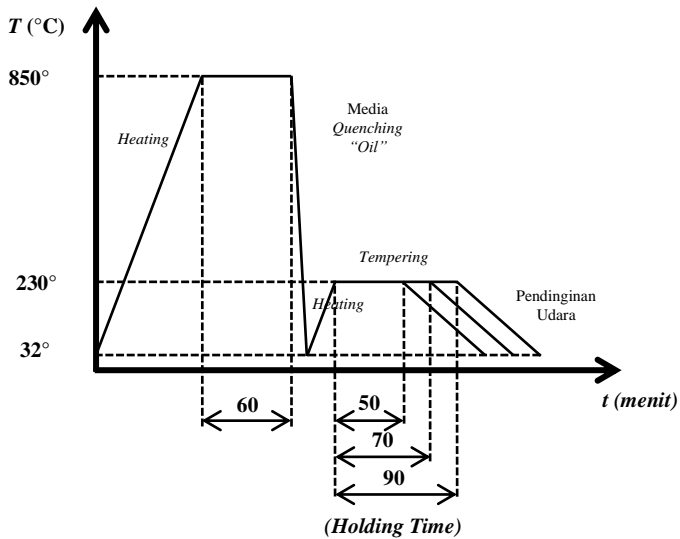
Gambar 3.2 Baja pegas daun bekas

3.3 Perlakuan Panas

Perlengkapan yang digunakan pada proses perlakuan panas di laboratorium yaitu dengan menggunakan dapur pemanas/oven dan digunakan oli sebagai media pendingin proses *quenching*.



Gambar 3.3 Dapur pemanas/oven



Gambar 3.4 Skema proses perlakuan panas

3.4 Proses Pengerasan

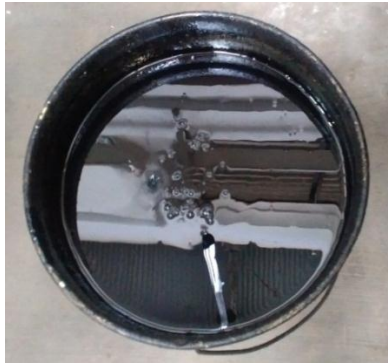
Perlakuan panas ini dilakukan dengan memanaskan material di dalam *furnace* / oven dengan spesimen yang berjumlah enam belas buah yang dipanaskan sampai temperatur austenisasi dengan temperatur 850 °C dengan waktu penahan 60 menit.



Gambar 3.5 Pemasukan spesimen ke dalam oven

3.4.1 Proses Pendinginan

Setelah proses pengerasan dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pendinginan secara cepat (*quenching*) dengan cara mengeluarkan spesimen dari dalam oven kemudian didinginkan dengan media pendingin yang digunakan. Pada proses ini media pendingin yang digunakan berupa oli. Ketika benda uji telah dimasukkan kedalam media pendingin, dengan bersamaan media pendingin tersebut diaduk supaya media pendingin tersebut dapat bersirkulasi.



Gambar 3.6 Media pendingin

3.5 Proses Tempering

Setelah proses pendinginan selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan proses tempering. Proses ini dilakukan dengan memasukkan spesimen ke dalam oven dan dipanaskan pada suhu 230°C dengan tiga waktu penahanan (*holding time*) yaitu 50 menit, 70 menit dan 90 menit. Spesimen yang dilaku panas berjumlah dua belas buah.



Gambar 3.7 Pemasukan spesimen dalam oven

Setelah proses pemanasan spesimen selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan dengan media pendingin yang digunakan adalah udara bebas.



Gambar 3.8 Pendinginan proses tempering

3.6 Pengujian

Pada pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dua metode pengujian secara mekanik yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak. Pengujian ini dilakukan pada material yang telah dilakukan laku panas sebelumnya sesuai dengan gambar diagram alir diatas.

3.6.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Metallurgi jurusan Departemen Teknik Mesin Industri ITS Surabaya. Angka kekerasan yang digunakan pada pengujian kekerasan metode Rockwell C dengan menggunakan mesin uji merk FRANK. Identor yang digunakan berupa intan dengan beban minor 10 kg dan beban mayor 150kg. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang terjadi akibat proses laku panas yang telah dilakukan.

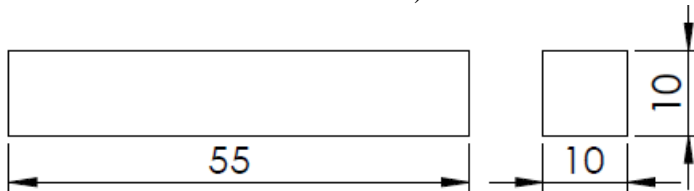


Gambar 3.9 Alat uji kekerasan

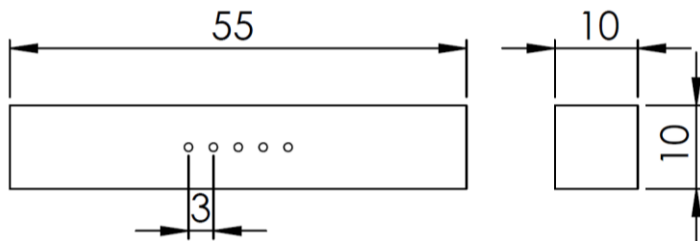
Prosedur pengujian kekerasan metode Rockwell C adalah sebagai berikut :

1. Memeriksa dan mempersiapkan spesimen uji sehingga siap untuk diuji dengan ukuran sesuai pada gambar 3.3, permukaan (atas dan bawah) spesimen harus datar, halus serta bebas dari kotoran, minyak benda asing maupun cacat.

2. Memeriksa dan mempersiapkan mesin yang akan dipakai untuk melakukan pengujian. Memasang idendor pada pemegang idendor.
3. Pengatur beban diatur pada pembebanan 150 kg (untuk Rockwell C).
4. Spesimen diletakkan pada alat uji kekerasan Rockwell C dan dilakukan pengujian.
5. Penentuan lokasi yang diidentasi pada spesimen yang tanpa perlakuan panas dan telah melalui proses perlakuan panas.
6. Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala warna hitam untuk Rockwell C).



Gambar 3.10 Dimensi spesimen pengujian kekerasan



Gambar 3.11 Lokasi pengujian kekerasan (titik identasi)

3.6.2 Pengujian Impak

Pengujian kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Metallurgi jurusan Departemen Teknik Mesin Industri ITS Surabaya. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode charpy dengan alat uji merk Frank, spesimen diberi takikan berbentuk V pada posisi tengah ukuran spesimen. Bagian

yang tertakik diletakkan disebelah dalam sehingga bandul yang berayun akan memukul benda uji pada sisi yang berlawanan dengan sisi spesimen uji yang bertakik.

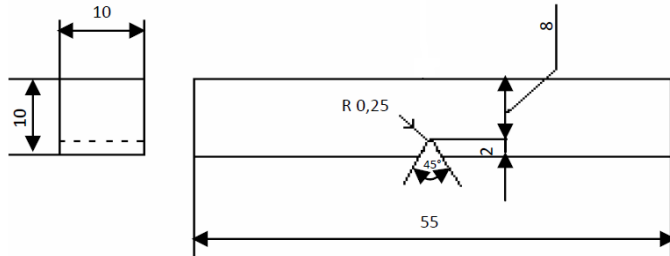


Gambar 3.12 Alat uji Impak

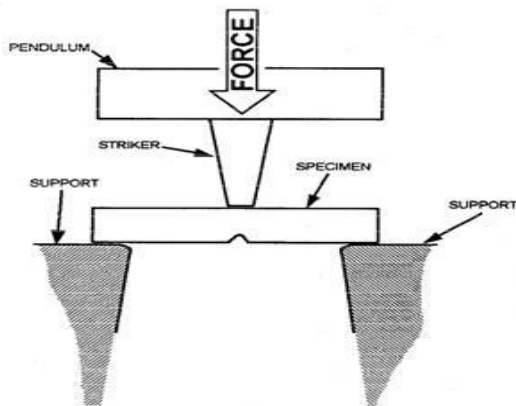
Adapun langkah-langkah pengujian impak metode Charpy adalah sebagai berikut :

1. Meletakkan benda uji ditempat benda uji pada alat uji impak (gambar 3.6). Penempatan benda uji harus benar-benar berada pada posisi tengah dimana pisau pada pendulum berada sejajar dengan takikan benda tersebut.
2. Mengangkat pendulum setinggi h atau sejauh 140° dengan cara memutar searah jarum jam secara perlahan-lahan.
3. Menyetel posisi jarum penunjuk pada posisi 0° .
4. Melepaskan pendulum untuk mengayun dan mematahkan benda uji sebesar sudut β .

5. Melihat dan mencatat hasil data yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk pada busur derajat
6. Melakukan perhitungan dari data pengujian yang telah diperoleh.



Gambar 3.13 Dimensi spesimen pengujian impak



Gambar 3.14 Lokasi penempatan benda uji impak [7]

BAB IV

DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen baja pegas daun bekas yang telah melalui proses perlakuan panas. Pembahasan data dilakukan berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian kekerasan dan pengujian impak.

4.1 Material Awal Tanpa laku panas

Pada spesimen tanpa laku panas (material awal) dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian impak agar diketahui nilai awal sebelum dilaku panas.

4.1.1 Uji Kekerasan Material awal

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode rockwell C. Pengujian ini dilakukan pada spesimen uji dengan pengambilan data lima titik terhadap spesimen.



Gambar 4.1 Spesimen uji kekerasan material awal

Data dari hasil pengujian kekerasan pada spesimen tanpa laku panas yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

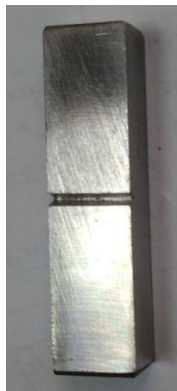
Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan tanpa laku panas

Titik identasi	Material awal (HRC)
1	38
2	39,5
3	39,5
4	39
5	38,5
Rata-rata	38,9

Dari data diatas dapat dilihat, bahwasanya pada spesimen uji awal tanpa laku panas (material awal) hanya memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 38,9 HRC. Nilai diatas dapat dijadikan pembanding dengan hasil yang didapatkan pada uji kekerasan setelah dilakukan proses laku panas.

4.1.2 Uji Impak Material Awal

Pengujian impak dilakukan pada tiga spesimen uji menggunakan metode charpy untuk mengetahui nilai kekuatan impak (*impact strength*) pada spesimen uji tanpa laku panas (material awal).



Gambar 4.2 Benda uji impak material awal

Data dari hasil pengujian impak pada spesimen uji tanpa laku panas (material awal) yang telah dilakukan pada tiga spesimen uji yang berbeda dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil uji impak tanpa laku panas

Spesimen	Sudut β	Energi (E)	Luas patahan (mm ²)	Impact strength, IS (Kgm/mm ²)
Tanpa laku panas	126	1,056	80	0,0132
	130	0,730	80	0,00912
	128	0,891	80	0,01114
Rata-rata impact strength				0,01115

Berdasarkan data pengujian impak yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai kekuatan impak untuk setiap spesimen uji berbeda-beda, kemudian dirata-rata dan mendapatkan hasil bahwa *impact strength* untuk material awal tanpa perlakuan panas sebesar 0,01115 Kgm/mm².

4.2 Laku Panas Pengerasan

Dilakukan proses laku panas pengerasan pada material yang dilakukan pendinginan secara cepat untuk mengetahui tingkat kekerasan dan nilai *impact strength* yang dihasilkan.

4.2.1 Uji Kekerasan Pengerasan

Setelah proses laku panas pengerasan(*hardening*) selesai dilakukan kemudian dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui peningkatan nilai kekerasan spesimen yang telah mendapat proses pengerasan.



Gambar 4.3 Spesimen uji kekerasan proses hardening

Data dari hasil pengujian kekerasan pada spesimen laku panas pengerasan pada setiap titik yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan laku panas pengerasan

Titik identasi	Proses quenching (HRC)
1	54,5
2	55
3	55
4	54,5
5	54,5
Rata-rata	54,7

Berdasarkan data pengujian kekerasan yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekerasan pada spesimen yang telah dihardening memiliki nilai kekerasan berbeda dibandingkan dengan material awal. Kekerasan setelah proses hardening mengalami peningkatan dibanding kekerasan material awal.

Hasil pengujian kekerasan pada proses *hardening* yang telah dilakukan dapat dijadikan pembandingan dengan spesimen uji pada proses perlakuan panas *tempering*.

Dari hasil perlakuan panas yang dilakukan ini yaitu pada temperatur autenisasi 850°C dengan waktu penahanan 60 menit, terdapat perbedaan nilai kekerasan yang dihasilkan antara spesimen tanpa laku panas dengan spesimen yang mendapat proses *hardening*. Pada spesimen uji awal tanpa perlakuan panas memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 38,9 HRC. Setelah melalui proses hardening spesimen uji memiliki nilai rata-rata kekerasan mencapai 54,7 HRC.

4.2.2 Uji Impak Pengerasan

Selain pengujian kekerasan, pada proses ini juga dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan impak yang dilakukan pada tiga spesimen uji setelah mengalami laku panas pengerasan.



Gambar 4.4 Spesimen uji impak pengerasan

Data dari hasil pengujian impak pada spesimen laku panas pengerasan yang dilakukan pada tiga spesimen uji dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Hasil uji impact laku panas pengerasan

Spesimen	Sudut β	Energi (E)	Luas patahan (mm ²)	Impact strength, IS (Kgm/mm ²)
Quenching	136	0,277	80	0,00346
	136	0,277	80	0,00346
	137	0,206	80	0,00257
Rata-rata <i>impact strength</i>				0,00316

Energi impact didapatkan dari lampiran 1 berdasarkan sudut β yang dihasilkan setelah tumbukan. Selain itu energi impact dan *impact strength* juga dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$IS = \frac{\text{Energi impact}}{A}$$

IS : *Impact strength* (Kgm/mm²)

A : Luas patahan spesimen (mm²)

A = Tebal patahan (mm) x Lebar spesimen (mm)

E : Energi impact (Kgm)

Contoh perhitungan *impact strength* dengan sudut β 136, 136 dan 137 pada proses quenching berdasarkan tabel 4.4 diatas.

- Sudut $\beta = 136$

$$\begin{aligned} E &= W.l.(Cos \beta - Cos \alpha) \\ &= 13,17Kg \times 0,45m \times (Cos(136)-Cos(140)) \\ &= 0,277 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$IS = \frac{0,277 \text{ Kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$IS = 0,00346 \text{ Kgm/mm}^2$$

- Sudut $\beta = 137$

$$\begin{aligned} E &= W.l.(Cos \beta - Cos \alpha) \\ &= 13,17\text{Kg} \times 0,45\text{m} \times (Cos(137) - Cos(140)) \\ &= 0,206 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$IS = \frac{0,206 \text{ Kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$IS = 0,00257 \text{ Kgm/mm}^2$$

Energi impact yang dihasilkan dari perhitungan diatas memiliki nilai yang sama bila dilihat pada lampiran 1. Perhitungan dari tiga spesimen kemudian dirata-rata.

Berdasarkan data dari hasil pengujian impact yang dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai kekuatan impact (*impact strength*) pada spesimen uji yang dilaku panas pengerasan ada perbedaan dengan spesimen uji material awal tanpa laku panas. Dapat dilihat pada data diatas, bahwa pada material awal nilai kekuatan impact yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan material yang telah mendapat perlakuan panas pengerasan.

Dari data yang didapat pada pengujian yang telah dilakukan terdapat perbedaan nilai kekuatan impact, pada material awal tanpa laku panas memiliki nilai kekuatan impact rata-rata sebesar $0,01115 \text{ Kgm/mm}^2$, sedangkan pada spesimen proses *hardening* rata-rata kekuatan impact mencapai $0,00316 \text{ Kgm/mm}^2$

4.3 Laku Panas Tempering

Proses laku panas ini dilakukan pada material dengan pendinginan secara lambat untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan dan kekuatan impact yang dihasilkan pada spesimen uji

yang telah dilaku panas pengerasan dengan yang telah dilaku panas tempering.

4.3.1 Pengujian Kekerasan Tempering

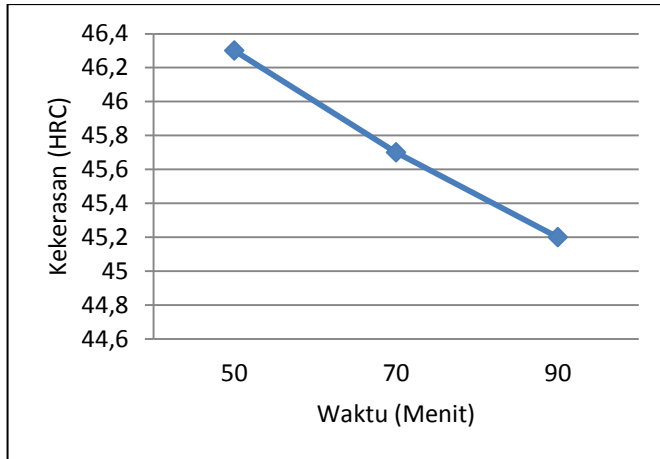
Setelah dilakukan proses tempering kemudian dilakukan pengujian kekerasan dengan cara rockwell. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap spesimen uji yang dihasilkan pada proses ini.

Data dari hasil pengujian kekerasan spesimen uji dengan proses tempering dibandingkan dengan spesimen uji pengerasan dapat pada dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan proses tempering

Titik identasi	Quenching (HRC)	Tempering (HRC)		
		50 menit	70 menit	90 menit
1	54,5	46	46	45
2	55	45,5	45	46
3	55	47	45,5	45
4	54,5	46	46	45
5	54,5	47	46	45
Rata-rata	54,7	46,3	45,7	45,2

Dari tabel diatas, selanjutnya dibuat grafik sesuai data hasil pengujian kekerasan pada proses tempering dan dapat dilihat pada gambar grafik 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh waktu tempering terhadap kekerasan

Berdasarkan data pengujian kekerasan yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekerasan dari spesimen uji proses tempering dengan spesimen uji proses pengerasan memiliki nilai kekerasan yang berbeda. Selain itu, benda uji pada tiap-tiap waktu penahanan juga memiliki kekerasan yang berbeda-beda.

Sesuai data yang tertulis pada tabel 4.5 diatas, proses perlakuan panas ini dilakukan pada temperatur 230°C dengan waktu penahan yang berbeda-beda yaitu 50 menit, 70 menit dan 90 menit. Dengan melihat hasil pengujian kekerasan yang dilakukan, didapatkan nilai kekerasan yang berbeda-beda atau terjadi penurunan nilai kekerasan tiap parameter waktu penahan perlakuan panas tempering. Proses laku panas tempering dilakukan setelah spesimen uji mendapat perlakuan panas pengerasan (*hardening*).

4.3.1.1 Analisa Pengujian Kekerasan

Berdasarkan data yang tertulis diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya proses tempering, maka kekerasan

yang dihasilkan saat proses pengerasan mengalami penurunan. Pada proses pengerasan diperoleh rata-rata nilai kekerasan mencapai 54,7 HRC dan mengalami penurunan setelah mendapat proses tempering.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penahan pada proses tempering, maka nilai kekerasan dari suatu material mengalami penurunan. Nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan pada spesimen dengan waktu penahanan 50 menit yang memiliki nilai rata-rata kekerasan mencapai 46,3 HRC. Selanjutnya pada waktu penahanan 70 menit memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 45,7 HRC dan yang terakhir pada waktu penahanan 90 menit hanya memiliki nilai kekerasan sebesar 45,2 HRC.

Pada temperatur tempering 230°C terjadi laju diffusi lambat yang hanya sebagian kecil karbon dibebaskan. Dengan adanya waktu penahanan proses tempering yang diberikan, akan memberikan kesempatan pada karbon lebih banyak untuk melakukan diffusi secara menyeluruh. Sehingga membuat spesimen uji semakin menurun kekerasannya seiring lamanya waktu tempering.

4.3.2 Pengujian Impak Tempering

Setelah pengujian kekerasan dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian impak yang dilakukan pada tiga spesimen untuk tiap parameternya. Pengujian dilakukan menggunakan metode charpy untuk mengetahui nilai kekuatan impak pada spesimen uji setelah mendapat laku panas proses tempering.

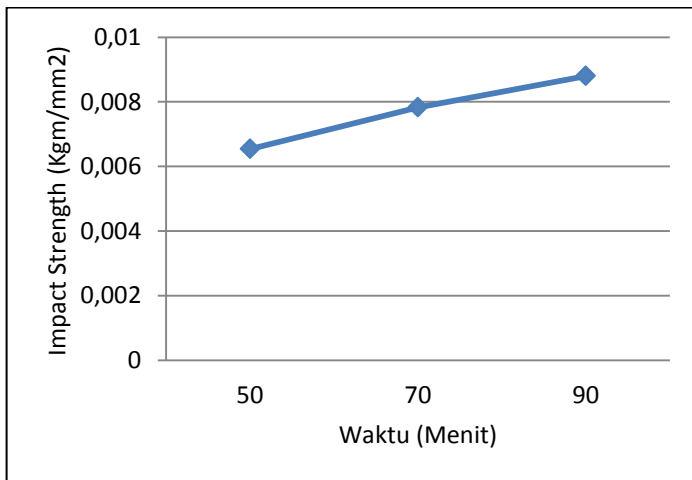
Data dari hasil pengujian impak pada spesimen laku panas tempering yang dilakukan pada tiga spesimen uji dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Hasil uji impak proses tempering

Spesimen	Sudut β	Energi (E)	Luas patahan (mm ²)	Impact strength, IS (Kgm/mm ²)	Rata-rata impact strength
----------	------------------	---------------	---------------------------------------	--	---------------------------------

Quenching	136	0,277	80	0,00346	0,00316
	136	0,277	80	0,00346	
	137	0,206	80	0,00257	
Tempering 50 menit	133	0,498	80	0,00622	0,00654
	132	0,498	80	0,00622	
	132	0,574	80	0,00718	
Tempering 70 menit	133	0,498	80	0,00622	0,00783
	131	0,652	80	0,00781	
	130	0,730	80	0,00912	
Tempering 90 menit	131	0,652	80	0,00781	0,0088
	129	0,810	80	0,01012	
	131	0,652	80	0,00781	

Data dari nilai kekuatan impak (*impact strength*) yang tertulis pada tabel 4.6 diatas selanjutnya digambarkan pada sebuah grafik untuk membandingkan hasil pengujian spesimen yang telah diuji impak, dan dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh waktu tempering terhadap *impact strength*

Berdasarkan data pengujian impak yang dilakukan, dapat diketahui bahwa sudut β yang dihasilkan untuk tiap spesimen beberapa mengalami perbedaan. Oleh karena itu, setiap spesimen uji memiliki nilai energi impak yang berbeda-beda, sehingga rata-rata *impact strength*nya juga berbeda tergantung dari sudut β yang dihasilkan.

Berdasarkan data diatas juga dapat dilihat bahwa seiring lamanya waktu penahanan pada proses tempering, maka kenaikan *impact strength* semakin besar. Dapat dilihat pada gambar grafik 4.6 kenaikan nilai kekuatan impak terkecil terjadi pada waktu penahanan 50 menit, sedangkan pada waktu penahanan 90 menit terjadi kenaikan terbesar nilai kekuatan impak.

4.3.2.1 Analisa Pengujian Impak

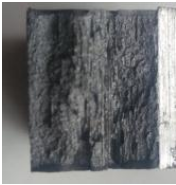
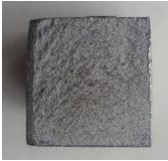
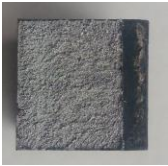
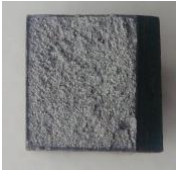

Berdasarkan data diatas, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada nilai kekuatan impak pada spesimen yang telah mendapat proses tempering. Pada proses pengerasan diperoleh rata-rata nilai kekuatan impak mencapai $0,00316 \text{ Kgm/mm}^2$. Nilai *impact strength* proses tempering mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan nilai *impact strength* pada spesimen proses pengerasan.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penahanan pada proses tempering, maka nilai kekuatan impak dari suatu material semakin meningkat. Dapat dilihat pada data diatas dengan waktu penahanan 50 menit menghasilkan rata-rata *impact strength* sebesar $0,00654 \text{ Kgm/mm}^2$. Selanjutnya pada waktu penahanan 70 menit memiliki rata-rata nilai *impact strength* sebesar $0,00783 \text{ Kgm/mm}^2$. dan yang terakhir pada waktu penahanan 90 menit hanya memiliki nilai kekerasan dan yang terakhir pada waktu penahanan 90 menit memiliki rata-rata nilai *impact strength* sebesar $0,0088 \text{ Kgm/mm}^2$.

Dengan terjadinya penurunan nilai kekerasan dari spesimen yang telah mendapat proses tempering, maka

keuletan dan ketangguhan menjadi meningkat. Terjadinya kenaikan *impact strength*, menunjukkan bahwa sebagian tegangan sisa mulai hilang pada proses pengerasan.

Tabel 4.7 Pola patahan hasil pengujian impak

No	Spesimen		Pola patahan
1	Tanpa laku panas		
2	Hardening	60 menit	
3	Tempering	50 menit	
4		70 menit	
5		90 menit	

Benda yang diuji termasuk spesimen yang getas, karena pada saat dilakukan pengujian benda seluruhnya mengalami patah tanpa adanya perubahan atau pengecilan penampang. Selain dilihat pada saat pengujian, jenis patahan juga dapat dilihat dari pola patahan pada tabel 4.7 diatas. Patah tersebut diatas termasuk *brittle fracture* atau patah getas karena pada permukaan patahannya datar dan tegak lurus terhadap permukaan spesimen.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh dari proses perlakuan panas dengan variasi waktu pada proses tempering yaitu 50 menit, 70 menit, 90 menit dengan temperatur 230°C mendapat kekerasan sebesar 46,3 HRC, 45,7 HRC, 45,2 HRC dengan bahan dari pegas daun bekas.

Apabila ditinjau dari produk pisau dapur produksi Jepang dengan kekerasan berkisar antara 56 HRC-61HRC (lampiran 2) sesuai dengan kegunaan dari pisau itu sendiri misalnya saja *chef knife*, *bread knife*, *santoku knife*, *slicing knife* dll. Dengan melihat pisau jepang, penelitian yang dilakukan tidak dapat mencapai tuntutan nilai sesuai dengan pisau dapur produk jepang. Hal ini dapat terjadi akibat kesalahan pada proses quenching.

Proses perlakuan panas yang dilakukan yaitu dengan proses hardening temperatur 850°C yang ditahan selama 60 menit, kemudian diquenching dengan media pendingin berupa oli. Proses quenching dilakukan pada 14 buah spesimen setelah dilaku panas, hal ini yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan setelah proses quenching menjadi tidak optimal karena dengan banyak spesimen yang dimasukkan kedalam media pendingin akan mempengaruhi laju pendinginan pada spesimen, yang hanya didapatkan kekerasan sebesar 54,7 HRC.

Dengan kekerasan setelah proses quenching hanya sebesar 54,7 HRC, sesuai referensi yang didapat kemudian dilakukan proses panas lanjutan (tempering). Dengan adanya proses tempering, maka dapat nilai kekerasan yang dihasilkan semakin

berkurang, tetapi kekuatan impak (*impact strength*) semakin meningkat.

Dalam pembuatan sebuah produk pisau harus diperhatikan kegunaan pisau, jenis bahan yang digunakan dan proses pembuatannya yang akan berpengaruh terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Karena produk pisau akan memiliki tingkat kekerasan yang berbeda-beda sesuai bahan baku yang digunakan dan sesuai dengan fungsi dari pisau tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian berdasarkan data yang telah dianalisa adalah :

1. Hasil pengujian menunjukkan dengan adanya perbedaan waktu tempering 50 menit, 70 menit, 90 menit pada temperatur 230°C adalah :
 - Nilai kekerasan semakin menurun seiring lamanya waktu tempering, yaitu 46,3 HRC, 45,7 HRC, 45,2 HRC.
 - Nilai *impact strength* semakin meningkat seiring lamanya waktu tempering, yaitu 0,00654 Kgm/mm², 0,00783 Kgm/mm², 0,0088 Kgm/mm².
2. Dengan adanya proses quenching, nilai kekerasan semakin meningkat bila dibandingkan dengan spesimen awal sebelum dilaku panas, tetapi pada kekuatan impak terjadi penurunan.

5.2 Saran

1. Pada saat proses pendinginan cepat, sebaiknya dilakukan pencelupan dengan jumlah spesimen yang tidak terlalu banyak kedalam media pendingin, agar didapatkan kekerasan yang optimal.
2. Pada penelitian kali ini pengujian hanya dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan impak pada material, dan selanjutnya dapat dilakukan dengan pengujian yang lain.
3. Pada penelitian ini hanya dilakukan pada satu macam pegas daun bekas, untuk selanjutnya dapat dilakukan dengan material baja lain yang berbeda-beda.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy second edition*. New York : Mc. Graw Hill.
- [2] Totten, George E. 2007. *Steel Heat Treatment Handbook, Metallurgy and Technologies second edition*. Portland : Taylor & Francis Group.
- [3] JIS Handbook. 2006. *Ferrous Material and Metallurgy II*. Tokyo : Japanese Standard Association.
- [4] Yamada, Yosiro. 2007. *Material for Spring*. New York : Springer.
- [5] Wildania, Ridha. 2017. *Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Pisau Dapur Berbahan Baja Bekas Pegas Daun*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [6] Setiawan, Indra., dan Muhammad Sakti Nur. *Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 pada Pegas Daun Dengan Proses Laku Panas*. Jakarta : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah.
- [7] Dany Dwi K.W. 2010. *Pengujian Impak*. <URL : <https://danidwikw.wordpress.com/>>
- [8] ASM Handbook. 1991. *Atlas of Time temperature Diagram for Irons and Steels*. USA: ASM International.

- [9] Sefnat Kogoya. 2013. *Perlakuan Panas Heat Treatment*.
<URL : <http://sefnath.blogspot.co.id?>>
- [10] Ardiyono, Egie. 2016. *Pengaruh Perbedaan Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Leaf Spring*. Surabaya. Program Studi Diploma III, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Talmadge, Joe. 2005. *Knife Steel FAQ*. Diambil dari :
Zknives.com/knives/articles/knifesteelfaq.shtml
- [12] Hrisoulas, Jim. 1991. *The Master Bladesmith*. USA. Paladin Press.
- [13] Kai Corporation. 1908. *Kitchen Knife*. Tokyo, Japan. Fine Japanese Craftsmanship.

LAMPIRAN 1

Konversi Sudut Hasil Pengujian Impak

**** 衝擊試驗機能量對照表****

公司	PT. ANUGERAH SISTEMA DERKASA				
儀器型式	CHARPY	儀器序號	#7316	製造日期	2005/10/27
儀器能量	10	KG — M	擺錘重量(W)	13.17	KG
擺錘週期(T)	1.49		擺錘搖高角度(α)	140	°
擺錘轉軸中心至重心距離(R)	0.45	M	衝擊速率(V)	4.370	
擺錘之力距(WR)	5.927		能量損失(L)	0.020	

CAPACITY ABSORBED : KG — M

0	10.466	31	9.620	62	7.322	93	4.230	124	1.226
1	10.466	32	9.566	63	7.231	94	4.127	125	1.141
2	10.463	33	9.510	64	7.138	95	4.023	126	1.056
3	10.458	34	9.453	65	7.045	96	3.920	127	0.973
4	10.452	35	9.395	66	6.950	97	3.818	128	0.891
5	10.444	36	9.335	67	6.856	98	3.715	129	0.810
6	10.434	37	9.273	68	6.760	99	3.613	130	0.730
7	10.422	38	9.210	69	6.664	100	3.511	131	0.652
8	10.409	39	9.146	70	6.567	101	3.409	132	0.574
9	10.393	40	9.080	71	6.469	102	3.308	133	0.498
10	10.376	41	9.013	72	6.371	103	3.207	134	0.423
11	10.358	42	8.944	73	6.273	104	3.106	135	0.349
12	10.337	43	8.874	74	6.174	105	3.006	136	0.277
13	10.315	44	8.803	75	6.074	106	2.906	137	0.206
14	10.290	45	8.731	76	5.974	107	2.807	138	0.136
15	10.265	46	8.657	77	5.873	108	2.709	139	0.067
16	10.237	47	8.582	78	5.772	109	2.610	140	0.000
17	10.208	48	8.506	79	5.671	110	2.513		
18	10.176	49	8.428	80	5.569	111	2.416		
19	10.144	50	8.349	81	5.467	112	2.320		
20	10.109	51	8.270	82	5.365	113	2.224		
21	10.073	52	8.189	83	5.262	114	2.129		
22	10.035	53	8.107	84	5.159	115	2.035		
23	9.995	54	8.023	85	5.056	116	1.942		
24	9.954	55	7.939	86	4.953	117	1.849		
25	9.911	56	7.854	87	4.850	118	1.758		
26	9.867	57	7.768	88	4.747	119	1.667		
27	9.821	58	7.681	89	4.643	120	1.577		
28	9.773	59	7.592	90	4.540	121	1.488		
29	9.723	60	7.503	91	4.437	122	1.399		
30	9.672	61	7.413	92	4.333	123	1.312		

*** FORMULA : = W*R*(COS(β)-COS(α)) ***

弘達儀器股份有限公司

Pisau Produk Jepang [13]

KNOW-HOW

Material references

Damascus steel

is an alloy, consisting of multiple, visible layers. This may consist of one or several grades of steel. This allows for the combination of steel grades with contrasting properties - to produce, for example, a particularly hard but at the same time flexible steel.

VG 2 steel

(67-58 ± 1 HRC) is a Japanese steel that is characterised by high flexibility and resilience. Thanks to its high chromium content, this blade steel is particularly hard-wearing and resistant to corrosion.

VG 10 steel

(61 ± 1 HRC) is a classic Japanese high performance steel, which is also called gold steel because of its outstanding properties. It is a blade steel of the highest quality that is both corrosion-resistant and rich in carbon. It contains a high percentage of vanadium, which is responsible for its strength and toughness. Moreover, VG-10 has a particularly high edge retention.

VG MAX steel

(61 ± 1 HRC) is based on VG-10 steel, whose properties it further optimises. Enriched with a higher chromium and vanadium content, it offers even higher corrosion resistance.

A higher carbon content also makes it harder than other steel grades.

SUS420J2 steel

(56 ± 1 HRC) is a corrosion-resistant stainless steel with high chromium content (14%) and an average carbon content (0.3%).

Stainless steel

and blades manufactured from it are highly resistant to corrosion due to their high chromium content. In principle, it is a very pure grade of steel. Higher carbon contents also ensure better edge retention.

HRC

describes hardness corresponding to C on the Rockwell Scale, which is used for hard materials. In this process, a diamond is pressed into the material. The depth of penetration determines the hardness value, which is then expressed in HRC units.

Pakkawood

is not a natural species, but refers to a wood veneer, which consists of several layers of different types of wood. The layers are pressed together under heat and pressure and can be coloured, allowing for more distinctive knife handles. Pakkawood handles are ideal for kitchen knives because the knives often come into contact with liquids. Organic, untreated genuine wood handles would decay over time and are therefore not suitable for daily use in the kitchen.

Santoku | MGR-170S
Blade 6.75" / 17.0 cm, Handle 13.4 cm

Chef's knife | MGR-150C
Blade 6.0" / 15.0 cm, Handle 13.4 cm

Chef's knife | MGR-200C
Blade 8.0" / 20.0 cm, Handle 13.4 cm

Bread knife | MGR-225S
Blade 8.75" / 22.2 cm, Handle 11.0 cm

Slicing knife | MGR-201L
Blade 8.0" / 20.0 cm, Handle 12.0 cm

LAMPIRAN 3

Tabel Konversi nilai kekerasan [3]

Hardness					Tensile strength					Hardness					Tensile strength					Hardness				
HV	HRB	HB	HRC		kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HB	HRC		kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HR	30N	
100	57.0	95		33	325					400	40.8	380.0	130	1275						700	60.1	77.6		
110	62.0	105		36	355					410	41.8	389.5	134	1315						710	60.5	78.0		
120	67.0	114		39	380					420	42.7	399.0	137	1345						720	61.0	78.4		
130	71.0	124		43	420					430	43.6	408.5	141	1385						730	61.4	78.7		
140	75.1	133		46	450					440	44.5	418.0	144	1410						740	61.8	79.1		
150	78.8	143		49	480					450	45.3	423	147	1440						750	62.1	79.4		
160	82.1	152		52	510					460	46.1	432	150	1470						760	62.5	79.7		
170	85.0	162		55	540					470	46.9	442	153	1500						770	62.9	80.0		
180	87.3	171		58	570					480	47.7	450	156	1530						780	63.3	80.4		
190	89.6	181		62	600					490	48.4	456	160	1570						790	63.6	80.7		
200	91.8	190		65	635					500	49.1	466	164	1610						800	64.0	81.1		
210	93.7	200		68	670					510	49.8	475	168	1640						810	64.3	81.4		
220	95.5	209		71	695					520	50.5	483	172	1680						820	64.7	81.7		
230	97.0	219		74	725					530	51.1	492	176	1725						830	65.0	81.9		
240	HRC	228		77	755					540	51.7	500	180	1765						840	65.3	82.2		
250	22.2	238		80	785					550	52.3	509	184	1805						850	65.6	82.5		
260	24.0	247		84	825					560	53.0	517	188	1845						860	65.9	82.7		
270	25.6	257		87	855					570	53.6	526	193	1890						870	66.1	82.9		
280	27.1	266		90	880					580	54.1	535	198	1940						880	66.4	83.1		
290	28.5	276		94	920					590	54.7	543	203	1990						890	66.7	83.3		
300	29.8	285		97	950					600	55.2	552								900	67.0	83.6		
310	31.0	295		101	990					610	55.7	560								910	67.2	83.8		
320	32.2	304		104	1020					620	56.3	569								920	67.5	84.0		
330	33.3	314		107	1050					630	56.8	577								930	67.8	84.2		
340	34.4	323		110	1080					640	57.3	586								940	68.0	84.4		
350	35.5	333		114	1115					650	57.8									950	68.4	84.6		
360	36.6	342		117	1150					660	58.3									960	68.7	84.8		
370	37.7	352		120	1175					670	58.8									970	69.0	85.0		
380	38.8	361		123	1205					680	59.2									980	69.3	85.2		
390	39.8	370		127	1245					690	59.7									1000	69.9	85.6		

LAMPIRAN 4

Hardness of some tool steel [1]

STEEL TYPE	HARDENING, °F	QUENCHING MEDIUM	TEMPERING RANGE, °F	APPROX HARDNESS ROCKWELL C
W1	1400-1550	Brine or water	300-650	65-50
W2	1400-1550	Brine or water	300-650	65-50
S1	1650-1800	Oil	400-1200	58-40
S5	1600-1700	Oil	350-800	60-50
O1	1450-1500	Oil	300-500	62-57
A2	1700-1800	Air	350-1000	62-57
A4	1500-1600	Air	350-800	62-54
D2	1800-1975	Air	400-1000	61-54
D3	1700-1800	Oil	400-1000	61-54
D4	1775-1850	Air	400-1000	61-54
H11	1825-1875	Air	1000-1200	54-38
H19	2000-2200	Air or oil	1000-1300	59-40
H21	2000-2200	Air or oil	1100-1250	54-36
H23	2200-2350	Air or oil	1200-1500	47-30
H26	2150-2300	Salt, oil, or air	1050-1250	58-43
H41	2000-2175	Salt, oil, or air	1050-1200	60-50
T1	2300-2375	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
T4	2300-2375	Oil, air, or salt	1000-1100	66-62
T6	2325-2400	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M1	2150-2225	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M2	2175-2250	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M6	2150-2200	Oil, air, or salt	1000-1100	66-61
M41	2175-2220	Oil, air, or salt	1000-1100	70-65
L2	1450-1550	Water	350-1000	63-45
	1550-1700	Oil		
L6	1475-1550	Oil	350-1000	62-45
F2	1450-1600	Water or brine	300-500	66-62
P2	1525-1550†	Oil	300-500	64-58‡
P20	1500-1600	Oil	900-1100	37-28

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 14 Oktober 1996 di Lamongan, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu pada tahun 2002-2008 bersekolah di MI Tahdzibul Akhlaq, kemudian pada tahun 2008-2011 melanjutkan ke MTsN Lamongan dan pada tahun 2011-2014 melanjutkan ke SMKN 1 Sidayu jurusan Teknik Kendaraan Ringan. Setelah itu pada tahun 2014 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik dibagian pemeliharaan III pada bulan Agustus 2016 selama satu bulan. Selama kuliah penulis juga pernah menjadi asisten Lab Perautan Departemen Teknik Mesin Industri selama satu periode kepengurusan. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi lebih luas dan untuk informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail : faisarwin@gmail.com